



La segmentation des paysages, une approche différente permettant la compréhension et la discrétisation du milieu naturel.

Jean Morschel

► To cite this version:

Jean Morschel. La segmentation des paysages, une approche différente permettant la compréhension et la discrétisation du milieu naturel.. Etudes de Géographie Physique, 2011, XXXVIII, pp.3 - 22. hal-00717111

HAL Id: hal-00717111

<https://hal.science/hal-00717111>

Submitted on 12 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La segmentation des paysages, une approche différente permettant la compréhension et la discrétisation du milieu naturel.

(Landscape segmentati`n: a different meth`d all`wing t` spatial divisi`n and analysis `f natural envir`nment)

Jean Morschel

04 93 37 55 41 – morschel@unice.fr

Maître de C`nférence, Université de Nice-S`phia Antip`lis, Faculté « Espaces & Cultures », Département Gé`graphie, Aménagement et Envir`nnement Durables. UMR CNRS 6012 ESPACE, Équipe Gesti`n et Val`risati`n de l'Envir`nnement.

Résumé.

Les segments de paysage sont des unités spatiales qui autorisent un découpage de l'espace en fonction de l'ensemble de ses caractéristiques : depuis les formes du relief jusqu'à l'agencement des différents matériaux composant le milieu. Basées sur un important travail de terrain et de nombreux traitements statistiques, ces unités sont d'abord établies le long de transects représentatifs de la diversité du milieu puis sont extrapolées à l'ensemble du paysage. La carte des segments de paysage qui en résulte correspond alors à un véritable modèle spatial dont les applications sont multiples. Cet article présente la méthode permettant de mettre en évidence et de cartographier les segments de paysages.

Mots clés : Géosystème, Paysage, segments de paysage, facette topographique, milieu naturel, discrétisation spatiale.

Extended Abstract.

It is extremely imp`rtant t` understand the `rganizati`n `f the natural landscapes since it is lay`ut determines and c``rdinates its flux. H`wever, the natural envir`nment is s` c`mplex that building a m`del t` understand it is quite hard. In fact, there are s` many different landscape arrangements and p`ssible dynamics that c`nstructing m`dels is a task carried `ut by a variety `f specialists

Furtherm`re, being capable `f t` represent the natural envir`nment is quite imp`rtant because `f this representati`n ensue, `n `ne hand, m`dels all`wing t` explain its structure and its dynamics and `n the `ther hand, t` predict its behavi`ur f`r purp`ses `f f`rward-l``king and `f risk management. That it is ab`ut ge`m`rph`l`gy, ab`ut hydr`l`gy, ab`ut climat`l`gy `r still ab`ut ped`l`gy, the questi`n `f the natural envir`nment m`delling is recurring since n`w fifty years. The research w`rks led within the framew`rk `f Transdisciplinary Landscape Analysis (Ge`graphic Sch`l `f Abidjan) has all`wed devel`ping meth`ds auth`rizing the ge`systemical landscapes understanding... They supply a set `f techniques facilitating landscapes interpretati`n and building explanat`ry m`dels f`r their c`herent representati`n with the c`untryside reality, and which can be used f`r predictive purp`ses. Indeed, several c`ncepts established all`w the implementati`n `f spatial

models representing each landscape's characteristics. These models are based on special entities: the landscape segments units.

Appropriate of every landscape, these units are spatially delimited by topographic contours and need an extensive fieldwork to identify all the natural environment constituents that comprise them. But, their unbiased representation needs also several statistical treatments that facilitate the information synthesis and its representation in a reproducible set. Then, landscape segments appear as specific spatial entities of every environment and authorize at once their representation, interpretation and the explanation of their dynamics. From this point of view, a map of landscape segments may be considered as to a real spatial model, which integrates all the natural environment characteristics that also comprises a sufficient synthesis level being enough for its systemic and forward-looking modelling.

This paper is methodological: first, it is purpose to explain the method used to arrest concretely the landscape segments and secondly to show in what a landscape segment map is useful for the natural environment interpretation.

Keywords: Geosystem, landscape, landscape segments, elementary topographic units, natural environment, spatial division.

Introduction.

Les études du milieu naturel reposent souvent sur l'utilisation de modèles, c'est-à-dire de représentations formalisées et épurées du réel. En géographie physique, ils sont de deux types : les modèles systémiques qui cherchent à représenter la structure d'un système pour en expliquer le fonctionnement et les modèles prédictifs qui sont les images mathématiques de ces systèmes et qui permettent d'en prévoir le comportement (Brunet, Ferras & Théry, 1993). En géomorphologie dynamique, en hydrologie et dans les sciences du sol, les modèles prédictifs sont les plus employés. Ils permettent en effet une estimation quantifiée des flux et à partir de là autorisent, dans le cadre de l'étude des risques naturels, la mise en œuvre de stratégies de prévention face au phénomène étudié. Or, si certains de ces modèles ont un pouvoir opérationnel évident, force est de constater que seuls quelques uns d'entre eux permettent d'expliquer l'espace sur lequel ils s'appliquent. Par exemple : les modèles empiriques, très usités, fonctionnent comme des boîtes noires paramétrées à partir de données essentiellement numériques. Ils ne s'appuient donc pas, ou rarement, sur l'analyse objective du milieu et ne permettent pas sa compréhension globale (Ambroise, 1999). Comprendre le milieu naturel et en proposer un modèle montrant sa structure et ses dynamiques est pourtant très important puisque son organisation commande, en partie, les mécanismes qui génèrent et dirigent ses flux. Mais cela est quelque chose de complexe : chaque milieu présente des agencements distincts qui entraînent des comportements différents vis-à-vis des flux qui le traversent. La connaissance de ces organisations spatiales particulières semble donc préalablement nécessaire à la quantification des flux. Ceci est d'autant plus vrai que les modèles prédictifs actuels, notamment les modèles distribués et semi-distribués, tendent de plus en plus à intégrer un découpage de l'espace dans leurs paramètres. Toutefois, les découpages employés sont souvent simples : le bassin versant est débité en sous-unités hydrologiquement homogènes, mais souvent très hétérogènes du point de vue de leur organisation interne, ce qui représente mal la réalité du paysage.

Partant de ces principes, cet article s'attache à présenter une méthode permettant de comprendre les agencements du milieu naturel et de les exprimer au travers d'une représentation mettant en évidence ses organisations et ses dynamiques ; autant d'éléments utiles à l'explication de l'espace et nécessaires à la modélisation quantitative future. La démarche proposée permet en effet d'identifier les arrangements verticaux et latéraux du

paysage, dans le but de caractériser les organisations spatiales spécifiques au lieu étudié pour en proposer un découpage pertinent. Elle permet ainsi la définition d'entités morphodynamiques nommées « segments de paysage » qui autorisent une discrétisation des espaces en fonction de leurs caractéristiques propres. Une carte des segments de paysage peut ainsi être considérée comme un modèle local, explicitant la structure et le fonctionnement du paysage considéré.

Trois points seront abordés dans cet article : la première partie réalise des rappels théoriques concernant les segments de paysage et les différentes notions qu'ils impliquent. La méthode permettant la collecte et le traitement des données en vue de la segmentation des paysages est ensuite fournie. Enfin la dernière partie traite de la synthèse paysagère et de la segmentation du paysage qui en découle.

1. L'Analyse Transdisciplinaire du Milieu : règles, notions et concepts.

L'analyse des « paysages » proposée dans cet article s'inscrit dans l'ensemble des méthodes établies par les Géographes français et ivoiriens de l'Ecole d'Abidjan. Cette équipe a permis l'établissement de règles, de notions et de concepts centrés sur la compréhension, l'analyse et le découpage objectif du milieu naturel, en se basant sur son organisation intrinsèque et pouvant être utilisé dans de nombreuses thématiques de recherche. Cherchant une réelle transdisciplinarité, qu'ils opposent à l'interdisciplinarité classique, ces chercheurs associant, pédologues, hydrologues, botanistes et géographes (...) ont créé, en 1977, l'Analyse Transdisciplinaire du Milieu (ATM), dont le texte fondateur fût publié dans les Cahiers de l'ORSTOM (Richard, Khan & Chatelin, 1977). Les méthodes, les outils, les notions et les concepts développés par l'ATM s'appuient, entre autres, sur une terminologie originale désormais reconnue (Lozet & Mathieu, 1997 ; Da Lage & Métaillé, 2000) dont le but est de simplifier la communication entre les scientifiques, d'origine multiple, qui travaillent sur un même objet : le paysage.

Les travaux qu'ils mènent s'inscrivent dans la mouvance mondiale de l'époque : ils peuvent être mis en relation avec ceux de la Science du Paysage soviétique (Rougerie & Beroutchachvili, 1991) ou encore ceux de certains chercheurs anglo-saxons (Conacher and Dalrymple, 1977). Les concepts qu'ils ont établis sont toujours d'actualité même s'ils sont parfois décriés par certaines disciplines scientifiques. Il convient alors, avant d'aborder la partie plus technique de la segmentation des paysages, de préciser quelque peu les grands traits théoriques établis par l'ATM.

1.1. Développement, complexité et emboîtements d'échelle de la géosphère.

Le milieu naturel correspond, ici, à ce que Richard & al. (2005) nomment la géosphère. Celle-ci représente, sur un axe vertical, l'espace compris entre le sommet des couvertures végétales (acropause) et le front de pénétration racinaire (catapause).

La géosphère apparaît comme un ensemble complexe au sein duquel le cheminement des flux connaît ses plus importantes et ses plus brutales variations. La pluie, par exemple, change peu tant qu'elle appartient au domaine de l'atmosphère : elle correspond à un flux vertical ou sub-vertical d'eau que seuls les vents peuvent contraindre. En revanche, dès qu'elle atteint la géosphère elle subit de multiples transformations dont la plus importante est liée au passage d'un trajet vertical à un écoulement latéral au niveau de la surface du sol (Ambroise, 1999), nommée épipause (Richard & al., 2005). Etudier la géosphère présente ainsi des intérêts

évidents pour les Naturalistes. L'étudier par rapport aux flux qui s'y inscrivent est également riche de significations.

Par conséquent, l'organisation de la géosphère apparaît d'abord sur un axe vertical qui permet de définir son développement et sa complexité, puis sur un plan latéral permettant de considérer la répartition dans l'espace de ces structures verticales à différentes échelles spatiales et temporelles.

Ainsi depuis l'acropause et jusqu'à la catapause se succèdent des enveloppes sub-horizontales constituées de fractions variables d'aéromasses et de phytomasses, puis de phytomasses, d'aéromasses et de minéralomasses, puis de minéralomasses, de d'aéromasses et d'hydromasses (...), à l'intérieur desquelles de nombreux flux sont absorbés, générés ou en transit (Richard & al., 2005). Chacune de ces « couches » correspond ainsi à un véritable sous-système parfaitement individualisé qui peut être appréhendé par l'observation directe. Les ensembles ainsi définis correspondent à des « hoplexols » (Richard, 1989 ; Da Lage & Métaillé, 2000). Comparables au géohorizon de la Science du Paysage soviétique (Rougerie, 1988 ; Richard & Beroutchachvili, 1996), les hoplexols se différencient nettement des « horizons » des pédologues et des « strates » des botanistes (Rougerie & Beroutchachvili, 1991) : ils n'entrent pas de facto dans un cadre pré-établi mais présentent, au contraire un développement et une composition spécifiques qu'il est nécessaire d'appréhender concrètement avant de pouvoir les intégrer à un type particulier. Ces deux caractéristiques font, en outre, que chaque relevé du milieu, c'est-à-dire une succession verticale d'hoplexols en un point donné de la géosphère, est différent de son voisin. Malgré cela, trois remarques globales peuvent toutefois être formulées :

- Si l'on considère d'abord l'épaisseur du milieu, il est possible de constater que celui-ci est plus développé à ses extrémités : à mesure que l'on approche de l'épipause, l'épaisseur des hoplexols décroît. Le rapport entre les extremums du milieu et la surface du sol est de l'ordre de 1 à 10000.

- Le second constat est que le milieu est plus simple à ses extrémités : à mesure que l'on s'éloigne de l'épipause, le nombre de matériaux présents dans les hoplexols diminue. Il est ainsi fréquent de rencontrer une quinzaine de composantes différentes à proximité de la surface du sol tandis que l'on n'en compte en général que trois ou quatre vers l'acropause ou la catapause (Morschel, 2006).

- Enfin, le troisième constat est que la nature des matériaux, c'est-à-dire les composantes élémentaires tangibles de la géosphère, définies par des néologismes propres à l'ATM (Beaudou & al., 1978 ; Lozet & Mathieu, 1997 ; Da Lage & Métaillé, 2000 ; Rambaud & Waechter, 2001 ; Richard & al., 2005), présents dans les hoplexols change en qualité et quantité. Ces changements permettent de mettre en évidence deux éléments utiles à la compréhension de la nature : s'ils sont mineurs, ils différencient les hoplexols les uns des autres ; s'ils sont majeurs, ils permettent de distinguer les différents types de milieux (tableau 1).

Métaplexion	Supralexion	S	Les "formations végétales ligneuses" , caractérisées par des formes d'expansion et de conduction végétales ligneuses.	Disposition des hoplexols selon l'horizontale (en "escalier" sur les pentes fortes).
	Supérieur	U	Les "formations végétales herbacées" , caractérisées par des formes d'expansion végétales herbacées (ou "sous-ligneuses")	Disposition des hoplexols parallèle à la surface du sol

	Strict	T	La "surface du sol" , caractérisée par de nombreuses formes d'accumulation minérales et organiques	Disposition des h'plex'ls liée au micr'-relief
	Inférieur	F	les "sols" , caractérisés par des formes d'agrégation organo-minérale ou minérale ("structures pédologiques")	Disposition des h'plex'ls parallèle à la surface du sol
Infraplexion		I	Les "formations (géologiques) superficielles" , caractérisées par des formes d'altération des roches et/ou par des formes de concentration minérales (l'ensemble "hydromorphes").	Disposition des h'plex'ls selon l'horizontale liée au relief (cône / discordant)

Tableau 1 : Les différents groupements d'hoplexols (hoplexions) et leurs caractéristiques.
Source : Richard et al., 2005

Les nombreuses observations de la géosphère menées dans le cadre de l'ATM depuis maintenant une quarantaine d'années vont dans ce sens. Ces trois règles prennent alors la valeur d'axiomes et de ce fait c'est à partir d'elles que toutes les réflexions sur les changements du milieu découlent. Une fois ces règles admises, il est possible de s'intéresser aux changements latéraux de la géosphère et de préciser les emboîtements d'échelles qu'ils déterminent. Quatre niveaux d'analyse apparaissent alors.

En considérant d'abord l'extension latérale d'un profil vertical donné, deux types de modifications apparaissent. Si les hoplexols du supraplexion (S) ou de l'infraplexion (I) changent, l'unité spatiale délimitée correspond à un « géon ». Si les hoplexols du métaplexion changent, l'unité définie correspond à un « géotope » (tableau 1). Les géotopes apparaissent ainsi comme des éléments constitutifs des géons. Leurs extensions maximales ne peuvent donc, en aucun cas, excéder celle du géon auquel ils appartiennent. Un géon correspond de ce fait à un ou quelques géotopes et définit ainsi « l'unité paysagique élémentaire » (Richard, 1989). Géons et géotopes ne peuvent être définis objectivement qu'après un important travail de terrain, mais la représentation que l'on en donne est issue de la réduction informationnelle inhérente aux traitements statistiques qu'ils autorisent (Rougerie & Beroutchachvili, 1991 ; Morschel, 2006).

La recherche des limites spatiales des géons se fait également sur le terrain. Si certaines sont nettes et franches, comme la présence d'un affleurement de roche dure qui marque un escarpement ou le passage d'un relief de commandement à un glaciaire d'érosion, la plupart du temps, il est nécessaire d'avoir recours à un suivi le long d'une toposéquence pour percevoir comment et à quel endroit se font les changements entre deux relevés du milieu distincts et ainsi placer la limite entre deux géons.

Notons enfin que la définition proposée du géon est volontairement réduite à un seul des deux éléments qui le caractérise : l'espace. Les géons ne sont cependant pas des structures figées du milieu naturel : ils évoluent au fil du temps et affichent ainsi une succession d'états distincts qui changent au fil des jours, des saisons ou des années (Richard, 1989 ; Morschel & al., 2005). Une étude complète du milieu doit donc prendre en compte l'évolution des géons en plus des changements spatiaux qu'ils induisent. Toutefois, si cet élément s'intègre à la segmentation des paysages, nous ne nous y intéresserons pas dans cet article.

Le second niveau d'échelle correspond aux segments de paysage. D'un point de vue strictement topographique, les segments de paysage sont des unités qui s'inscrivent entre deux ruptures de pente. Leur caractérisation ne se limite cependant pas à cette seule contrainte : elle fait intervenir l'inclinaison et la longueur de la pente, la forme du versant et sa position

relative dans le paysage... Mais la définition des segments de paysages doit également faire référence aux contenus mésologiques qui s'y inscrivent et aux dynamiques auxquelles ils renvoient (Filleron, 1995). De ce fait il est nécessaire de prendre en compte la fréquence et le mode d'association des géons, les dynamiques hydriques, érosives.... C'est en cela qu'ils apparaissent comme les unités les plus appropriées pour discrétiser un espace en tenant compte de l'ensemble de ses caractéristiques. Nous nous intéresserons plus particulièrement à ces segments de paysage dans le point suivant de l'article.

Enfin les deux derniers niveaux d'analyse correspondent au « paysage » et à la « région ». Le paysage est entendu ici comme une séquence du milieu naturel qui se répète dans ses organisations latérales et verticales, dans ses transitions, dans ses dynamiques. Un paysage est alors considéré comme une succession de segments paysagiques, ordonnés depuis une ligne de faite jusqu'à un talweg, qui se reproduit à l'identique d'un interfluve à l'autre (Richard, 1989 ; Filleron, 1995). La notion de paysage regroupe ainsi tous les concepts exposés jusqu'à présent, depuis le matériau isolé jusqu'au segment de paysage. Enfin la région, organisation la plus vaste et la plus complexe que l'on est amené à concevoir, correspond à une succession de paysages semblables. Bien qu'elle corresponde à un des éléments les plus importants de la nature, sa complexité la rend très difficile à appréhender d'un point de vue systémique. Il est donc rare de la voir figurer en tant que tel dans une étude intégrée.

Depuis le matériau isolé ou considéré par rapport aux matériaux qui l'entourent et jusqu'à des agencements plus complexes, la géosphère répond à des règles qu'il est nécessaire de comprendre dans l'absolu et d'appréhender dans la réalité dès lors que l'on veut en proposer un modèle cohérent. Les segments de paysage apparaissent comme les entités importantes dans l'étude du milieu naturel. Il semble donc utile de les définir plus de précisément avant de poursuivre dans l'analyse.

1.2. Le concept de segments de Paysage.

Les segments de paysage sont des unités qui associent un contenu mésologique à une enveloppe topographique (Filleron, 1995). D'une manière générale ils s'inscrivent entre deux ruptures de pente, mais leur caractérisation se doit de faire référence à leur contenu. Celui-ci est apporté par la mise en évidence des géons qui s'y inscrivent.

Le concept de segments de paysage apparaît au cours des années 1970 et vient s'opposer aux « études intégrées » proposées alors. A cet effet, Filleron (1978) suggère l'idée d'un découpage précis et synthétique des paysages basé sur leurs limites physiques et représenté par des termes clairement définis qui se différencient nettement du vocabulaire géomorphologique classique (Beaudou & al., 1978). L'auteur propose deux nouvelles notions : la « facette topographique », portion d'espace isomorphe limitée par des ruptures de pentes et le « versant » correspondant à une suite ordonnée de facettes topographiques entre une ligne de faite et un talweg (Filleron, 1995). Un modèle est d'ailleurs établi : quatre types de facettes sont clairement identifiés et définies par une terminologie spécifique offrant les possibilités de déclinaisons et de combinatoire langagière de l'ATM (Beaudou et al., 1978 ; Richard, 1989). À cette époque toutefois, l'idée de segment de paysage n'est qu'effleurée : seules les enveloppes topographiques sont considérées. Cette notion va donc évoluer progressivement pour atteindre le rang de concept : de nombreuses influences extérieures à l'ATM vont la renforcer jusqu'à l'établissement du modèle à sept segments de paysage (Filleron, 1995) utilisé actuellement (tableau 2). L'idée d'associer la topographie à un contenu mésologique apparaît assez tôt. Elle fait référence, par exemple, aux travaux de Dalrymple, Blong & Conacher (1968) pour ce qui est des relations entre le relief et les sols, mais également aux recherches de Cappus (1960) en ce qui concerne les dynamiques, hydriques

notamment ou encore de Sautter (1983) et de Blanc-Pamard (In. Chatelin & Riou, 1986) pour les aspects anthropiques (Morschel & al., 2005 ; Temple-Boyer, 2006).

C'est cette idée d'associer à la fois une enveloppe topographique à un contenu mésologique pour découper l'espace qui est cruciale dès lors que l'on cherche à comprendre le milieu naturel dans sa globalité. Le concept de segment de paysage qui en découle logiquement favorise ainsi une véritable étude intégrée du paysage et permet son découpage cohérent vis-à-vis de l'ensemble de ses caractéristiques.

Malgré cela cette entité spatiale est, comme la plupart des concepts proposés par l'ATM, souvent négligée. Ainsi, chaque étude portant sur le milieu naturel propose ses propres limites et ses propres contenus, en rapport avec sa discipline, et délaisse l'aspect global pourtant essentiel dès lors que l'on souhaite comprendre la Nature dans son ensemble. De ce fait ces études, dont la qualité n'est pas remise en question, ne permettent qu'une vision orientée, partielle et partielle du Milieu Naturel. Et ceci est d'autant plus dommageable qu'il nous est de plus en plus fréquemment demandé, dans les programmes de recherche actuels notamment, de travailler au sein d'équipes pluridisciplinaires. Nous pouvons alors nous demander comment produire une véritable synthèse spatiale, intégrant l'ensemble des travaux de chercheurs d'horizons différents, si à la base les différentes études qu'ils réalisent proposent des unités spatiales spécifiques et différentes les unes des autres. Il semble d'ailleurs que ce soit là le principal problème de ce que l'on nomme interdisciplinarité : il s'agit plus souvent d'une juxtaposition de travaux sur un espace donné plutôt que d'une authentique intégration scientifique correspondant à ce qu'est véritablement le Milieu Naturel (Richard, Khan & Chatelin, 1977). Si la pertinence des résultats de chacun n'est, une fois encore pas, remise en question, force est de constater que ces découpages différents d'un même espace limitent considérablement les analyses globales. Il semble toutefois qu'il soit possible de mettre en œuvre une réelle transdisciplinarité, au moins en ce qui concerne les matières qui touchent au Paysage : le concept de segment de paysage prend alors toute sa valeur puisqu'il permet un découpage impartial des espaces en se fondant sur l'ensemble de ses caractéristiques... En ce sens, il pourrait correspondre à la base spatiale nécessaire, exploitable en elle-même, mais que chacun pourrait également reprendre dans ses propres problématiques.

Orthotype	Système de pente <i>exemples</i>	Principales organisations <i>Géons (et Géotopes)</i>	Bilans de l'eau et de la matière <i>Potentiels dynamiques</i>
Acroèdre	Pentes convexes divergentes : <i>sommets rocheux isolés</i>	Structures en mosaïques souvent très diversifiées et très contrastées	Erosif à très érosif
Supraèdre	Pentes subaplanies faibles ou très faibles : <i>sommets de buttes, de "croupes"...</i>	Structures centrales uniformes ou en marqueteries ("par plaques") Nombreux héritages Structures périphériques en auréoles	Autonome (à faiblement érosif vers les bordures)
Ectaèdre	Pentes convexo-concaves étroites fortes à très fortes : <i>"pentes de raccord", corniches...</i>	Différenciations latérales en "chevrons" triangulaires : - rentrant : complexes / développés, - saillants : simples / peu développés.	Erosif (en surface)
Métaèdre	Pentes subrectilignes élargies faibles à fortes : <i>sections de "versants", de "glacis"...</i>	Structures en "écailles" Géons de plus en plus développés et complexes vers l'aval.	Trans-érosif puis trans-accumulatif

Cataèdre	Pentes fortes (en réseau arborescent) : "entailles", ravins...	Structures homogènes : Géons très peu développés / très simples	Erosif à très érosif
Infraèdre	Pentes très faibles à nulles (en réseau arborescent) : "bas-fonds", lits majeurs...	Structures en franges souvent très diversifiées et très contrastées	Accumulatif
Endoèdre	Pentes convergentes très faibles à nulles : "cuvettes endoréiques..."	Structures en auréoles souvent très diversifiées et très contrastées	Fortement accumulatif

Tableau 2 : Le modèle à sept segments de paysage.

Source : Filleron (1995) ; Rambaud et Waechter (2001) ; Richard & al. (2005).

2. Appréhender les segments de paysage.

La définition des segments de paysage, même s'ils sont directement perceptibles sur le terrain, nécessite un double travail : l'identification et la classification des facettes topographiques d'une part et l'identification et la classification des géons d'autre part. C'est seulement lors de la mise en synergie de ces deux ensembles d'informations qu'ils peuvent être pleinement caractérisés. Il est donc indispensable d'analyser intégralement ces deux ensembles, même si cela implique certaines contraintes temporelles. Le travail de terrain doit donc être le plus rapide possible afin de multiplier les observations de la géosphère... Mais il doit également respecter les règles d'exhaustivité et d'homogénéité nécessaires à une étude globale du milieu (Richard & al., 2005). En effet, oublier de répertorier une composante du milieu, même la plus infime, signifie que l'on risque de passer à côté d'éléments cruciaux de sa dynamique. De même réaliser des relevés en des lieux différents sans suivre le même protocole de mesure implique l'impossibilité de les comparer entre eux en vue de réaliser la synthèse attendue. L'étude ne doit donc pas chercher à décrire les objets rencontrés, mais à identifier des formes déjà répertoriées et analysées. On parle alors, par analogie avec la médecine, de diagnose du milieu naturel (Beaudou et al., 1978 ; Richard, 1989). La collecte des deux ensembles de données nécessaires à la cartographie des segments de paysage est toutefois indépendante. Elle peut donc être réalisée par des équipes différentes, à conditions que celles-ci suivent les mêmes protocoles. Précisons alors la méthode permettant de collecter et de traiter les données permettant la mise en œuvre de la segmentation des paysages au sein d'un paysage donné.

2.1. Identification et classification des facettes topographiques.

Intéressons nous d'abord à la caractérisation topographique de l'espace puisqu'elle correspond, d'une certaine manière, à la partie la plus simple à réaliser. Dans la majorité des cas, la topographie est directement perceptible et ne nécessite pas un équipement lourd pour l'aborder : un support précis pour transcrire les relevés, une boussole, un clinomètre et un altimètre sont les seuls outils véritablement utiles pour l'appréhender. Notons toutefois que dans certains espaces aux reliefs peu contrastés mais pour lesquels l'importance topographique est avérée, les milieux deltaïques et les marais maritimes par exemple (Regain, 1971), le recours à des outils permettant une plus grande précision des levés est nécessaire pour la caractériser finement.

Quoi qu'il en soit, la méthode suivie sur le terrain est relativement rapide à mettre en œuvre : elle consiste à arpenter l'espace pour y repérer les ruptures franches dans la topographie. Chaque changement significatif d'inclinaison et d'orientation de la pente doit être répertorié :

ils indiquent le passage d'une facette à l'autre et permettent de fixer, respectivement, les limites amont et aval, puis latérales de celles-ci (figure 1). Une condition est toutefois formulée : une facette topographique doit faire au moins 10 mètres dans le sens de la plus grande pente. En deçà de cette longueur, les éventuels changements sont considérés comme insignifiants et ne sont donc pas répertoriés, à quelques exceptions près ! Il s'avère en effet que certaines ruptures très courtes spatialement marquent des changements très significatifs dans le paysage et méritent par là même d'être répertoriées. Morschel (2006) a ainsi montré l'importance de certains affleurements gréseux, de très faible développement mais marquant des ruptures nettes, dans les dynamiques hydriques des paysages qu'il a étudié. Hormis ces cas qui relèvent, à la limite, de la sensibilité du chercheur, la règle des 10 mètres s'applique. Chaque facette répertoriée doit en outre faire l'objet d'une caractérisation quantitative : ceci permet d'en réaliser une typologie et donc de passer d'un niveau élémentaire d'analyse à un niveau synthétique qui autorise l'extrapolation spatiale.

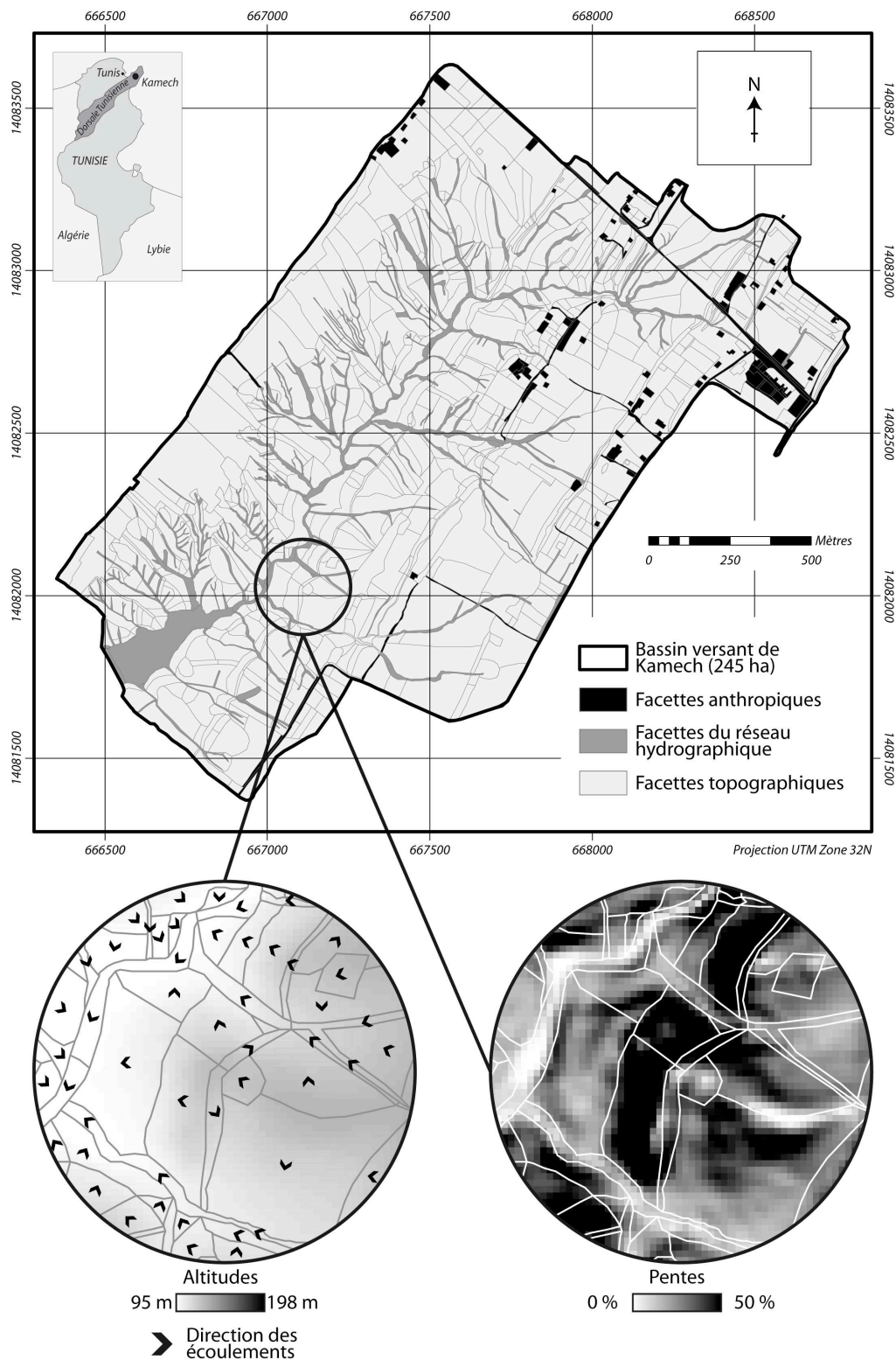


Figure 1 : les 1305 facettes topographiques de Kamech (Cap Bon, Tunisie).

Source : Morschel (2006) d'après les relevés de terrain réalisés par Allouch-Khebour F., Labiadh M., Morschel et Temple-Boyer E., Mai/Juin 2002.

Les variables quantitatives relevées doivent au moins comprendre l'altitude, la pente et l'orientation moyennes mesurées à mi-pente de chaque facette topographique. Morschel

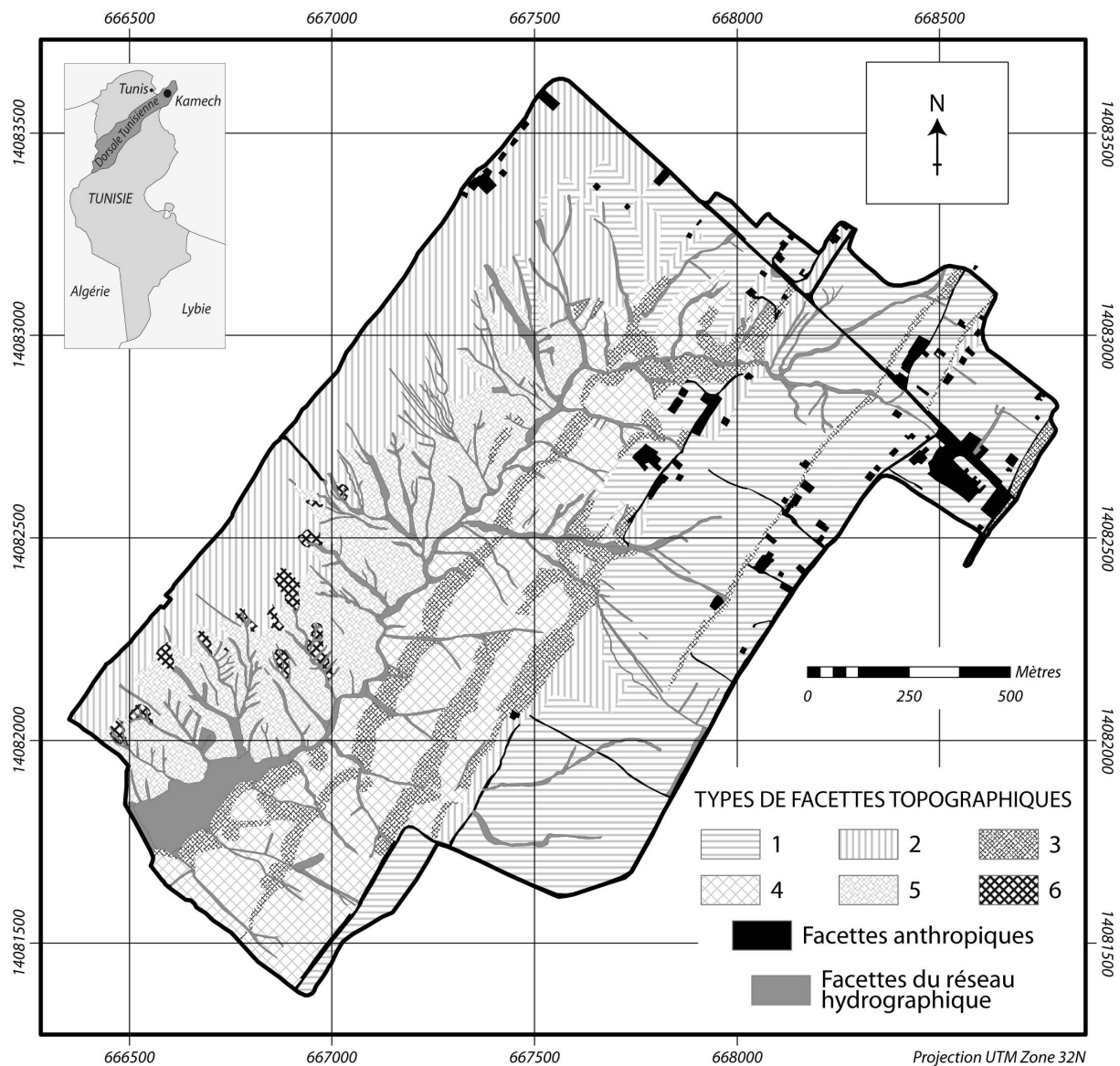
(2006) a montré que seuls ces trois paramètres étaient vraiment indispensables pour mettre œuvre une typologie efficace. D'autres éléments comme la longueur, l'aire ou le périmètre des facettes peuvent également être précisés même s'ils n'apportent pas véritablement de précision supplémentaire lors des traitements statistiques. Ces variables peuvent être soit relevées sur le terrain soit extraites d'un couplage avec un Modèle Numérique de Terrain (MNT) si celui-ci affiche une résolution suffisante. La solution numérique présente d'ailleurs de nombreux avantages, notamment car elle limite certains risques d'erreurs. Elle permet également de mieux prendre en compte les variations internes des facettes et offre ainsi une plus grande homogénéité dans les valeurs obtenues. Toutefois lorsque les facettes sont de taille très restreinte quelques problèmes notoires peuvent apparaître. Ils sont liés à la fois à l'imprécision du tracé lors de la numérisation et à un effet de bordure qui risque d'introduire des artéfacts lors de l'attribution des valeurs moyennes d'altitude, de pente et d'orientation (Morschel, 2006). Ainsi même si la solution numérique est à privilégier, il est important de réaliser les mesures sur le terrain ne serait-ce que pour comparer et éventuellement corriger les résultats obtenus automatiquement.

Une caractérisation qualitative des facettes peut également être réalisée. Des éléments comme le type d'occupation du sol, la nature et le volume des matériaux qui s'y inscrivent, la forme de la facette, la nature des écoulements de surface ou encore les pratiques culturelles sont autant d'éléments qui apportent de la précision et aident à l'interprétation des dynamiques même s'ils n'entrent pas directement dans la chaîne des traitements (Morschel, 2006).

Une analyse utile de la topographie d'un paysage est toutefois difficile tant que l'on reste au niveau élémentaire. Considérer les facettes au cas par cas puis en tirer des conclusions pertinentes est en effet tout simplement impossible : elles sont trop nombreuses et trop variées pour autoriser ce type d'exercice. Cela n'irait d'ailleurs pas dans le sens de la segmentation des paysages qui prétend à un niveau d'abstraction que l'on ne peut atteindre en restant au niveau particulière. Il est donc indispensable de regrouper les facettes topographiques avant de pouvoir interpréter les dynamiques auxquelles elles renvoient.

Une typologie des facettes topographiques doit donc être envisagée. La méthode proposée s'inspire des classifications des « types de temps » des climatologues qui réalisent une réduction de l'information avant de passer à la classification à proprement parler (Carrega, Dubreuil & Planchon, 2004). Deux séries d'opérations successives sont alors nécessaires (Morschel, 2006). Une Analyse en Composantes Principales (ACP) est d'abord effectuée sur les variables retenues afin d'obtenir un premier niveau de synthèse. Évidemment, avec seulement trois variables au départ, la réduction informationnelle de l'ACP est restreinte. La classification pourrait donc être appliquée directement sur les données brutes. L'exécution préalable d'une ACP met toutefois en évidence des éléments qui facilitent la compréhension. Elle autorise en effet une visualisation de l'agencement des variables et fournit ainsi de nombreux éléments utiles aux analyses ultérieures. Une fois l'ACP réalisée, la classification des facettes peut être effectuée : il s'agit alors de définir un nombre limité de classes tout en cherchant la plus grande représentativité spatiale. Chaque paysage étant unique, il est toutefois impossible de préciser à l'avance l'algorithme de classification ou le nombre de classes à retenir. Aucun protocole fixe ne peut donc être proposé ici : plusieurs scénarios faisant varier la méthode de classification et le nombre de classes doivent donc être établis puis transcrits spatialement avant de choisir le plus représentatif de l'espace. Les résultats obtenus doivent donc être minutieusement comparés, entre eux d'une part puis avec des coupes transversales du paysage d'autre part afin d'obtenir des conclusions justes et justifiées (Morschel, 2006). La figure 2 montre un exemple de typologie établie suivant cette méthode ainsi que les interprétations qu'elle autorise... L'ACP a permis, dans ce cas, de mettre en avant une nette opposition entre la pente et l'altitude des facettes, les orientations

n'intervenant qu'après pour distinguer certains espaces. La typologie finalement obtenue correspond à un des treize scénarios de classifications mis en œuvre à la suite de l'ACP (Morschel, 2006). C'est d'ailleurs elle qui a été retenue pour l'établissement de la carte des segments de paysage sur cet espace.



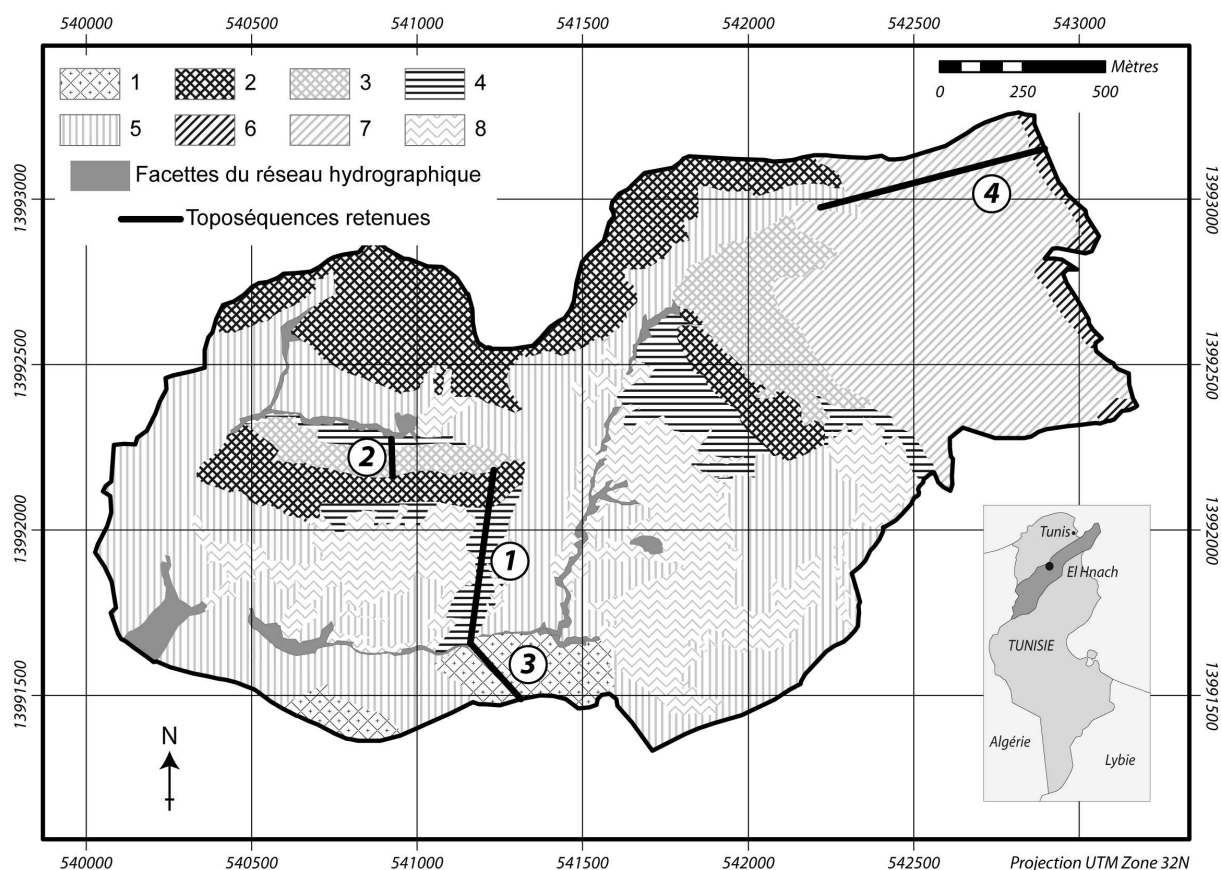
Type 1 : [Pentes faibles / altitudes élevées, orientation sud-est] *Plateaux inscrits sur le fr`nt des affleurements.*
Type 2 : [Pentes faibles / altitudes élevées, orientation nord-ouest] *Plateaux définis sur les revers structuraux.*
Type 3 : [Pentes très fortes / altitudes moyennes, orientation nord-ouest] *Talus très marqués, sur le fr`nt des c`uches.* **Type 4 :** [Pentes fortes / altitudes moyennes à faibles, orientations nord-est ou sud-ouest] *C`llines arr`ndies et régulières.* **Type 5 :** [Pentes moyennes / altitudes moyennes à faibles, orientations nord-est ou sud-ouest] *C`llines arr`ndies, irrégulières et très disséquées par le réseau hydr`graphique.* **Type 6 :** [Pentes très fortes, orientation sud-est] *Têtes de ravins.* [Entre crochets] : agencement des paramètres permettant la définition du type de facettes. *En Italique :* Interprétation géomorphologique du type de facette topographique.

Le bassin versant de Kamech est un exemple typique de relief appalachien. Il affiche à ce titre une relative complexité topographique dans laquelle les altitudes, les pentes et les orientations des versants s'opposent fréquemment. Toutefois l'étude fine de cet espace fait rapidement ressortir une organisation zonale caractéristique. De ce fait la complexité topographique n'est *qu'apparente* : dans la réalité les formes du relief se répètent à l'identique dès lors que l'on se place dans une même *bande*. Kamech est en ce sens un exemple concret de relief complexe et très contrasté mais également *bien`rganisé*. Les méthodes numériques permettant

la typologie des facettes topographiques s'appliquent donc très facilement et permettent d'obtenir des résultats directement utilisables pour la segmentation des paysages.

Figure 2 : Typologie des facettes topographiques de Kamech, retenue après traitements (Morschel, 2006)

Notons enfin qu'aucun traitement numérique, si performant soit-il, ne peut remplacer le savoir de l'expert. Il arrive en effet que quelques erreurs se glissent, impliquant l'obligation de faire de légères corrections manuelles avant de pouvoir exploiter pleinement le résultat obtenu. Cela reste toutefois marginal et seulement quelques facettes sont concernées par ce type de problème, prouvant ainsi l'efficacité et la pertinence de la méthode proposée. Précisons tout de même, pour être juste, que dans le cas de paysages très complexes et mal organisés topographiquement la méthode proposée ne fonctionne pas (figure 3).



Type 1 : collines arrondies - crêts disséqués ; *Type 2* : front de relief de commandement (alternance rapide marne/calcaire) ; *Type 3* : revers de relief de commandement (alternance rapide marne/calcaire) ; *Type 4* : glacis fossilisés par des croûtes calcaires résistantes ; *Type 5* : glacis « actuels » partiellement encroûtés ; *Type 6* : Talus - crêts continus ; *Type 7* : versant pentu sur marnes ; *Type 8* : *badlands*.

El Hnach s'inscrit dans une portion combe qui appartient à un anticlinal nettement plus vaste. Ses limites *est* et *sud* correspondent ainsi, approximativement, aux crêts de l'anticlinal. Sa limite *nord* correspond en revanche à un des monts dérivés qui apparaissent au sein cette entité. Paysage typique des milieux semi-arides, El Hnach se compose d'un ensemble de reliefs de commandement majoritairement calcaires au pied desquels se développent, sur les marnes sous-jacentes, des glacis d'érosion partiellement ou totalement fossilisés par des croûtes calcaires. Ce paysage apparaît comme un bémol à la méthode proposée pour classer les facettes topographiques : cet espace ne s'organise pas de manière *légique* ce qui limite fortement les traitements automatique. La typologie proposée a donc été réalisée manuellement. Quoiqu'il en soit la caractérisation des géons de ce paysage a nécessité l'analyse de quatre toposéquences le long desquelles se répartissent quelques 37 relevés de milieux. La figure 4 présente la toposéquence notée 1.

Figure 3 : Types de facettes et toposéquences retenues à El Hnach (395 ha).

Source : D'après les relevés de terrain réalisés par Gallardo S. en Octobre/Décembre 2004

Pour conclure sur ce point, il semble important de préciser que si la recherche des facettes topographiques d'un espace donné peut paraître quelque peu triviale et trop systématique, les analyses qu'elles autorisent sont déjà riches de signification. Les facettes topographiques peuvent en effet être interprétées en terme de dynamique du milieu naturel : leur forme, leur longueur, leur pente, leur orientation ou encore leur position relative dans le paysage..., sont autant d'éléments qui influencent les flux hydriques et érosifs, la formation des sols, celle des couvertures végétales et bien entendu l'emprise de l'homme. Elles sont donc fondamentales dans une étude intégrée de la géosphère.

La méthode présentée jusqu'à présent n'aborde qu'un des deux aspects de la segmentation des paysages : celui de leur cadre topographique. La délimitation de ces entités spatiales implique cependant de remplir ces enveloppes par un contenu mésologique. Sans cela, la cartographie des segments de paysage serait incomplète. Le point suivant de l'article présente donc la démarche permettant d'aborder cette question du contenu des segments paysagiques.

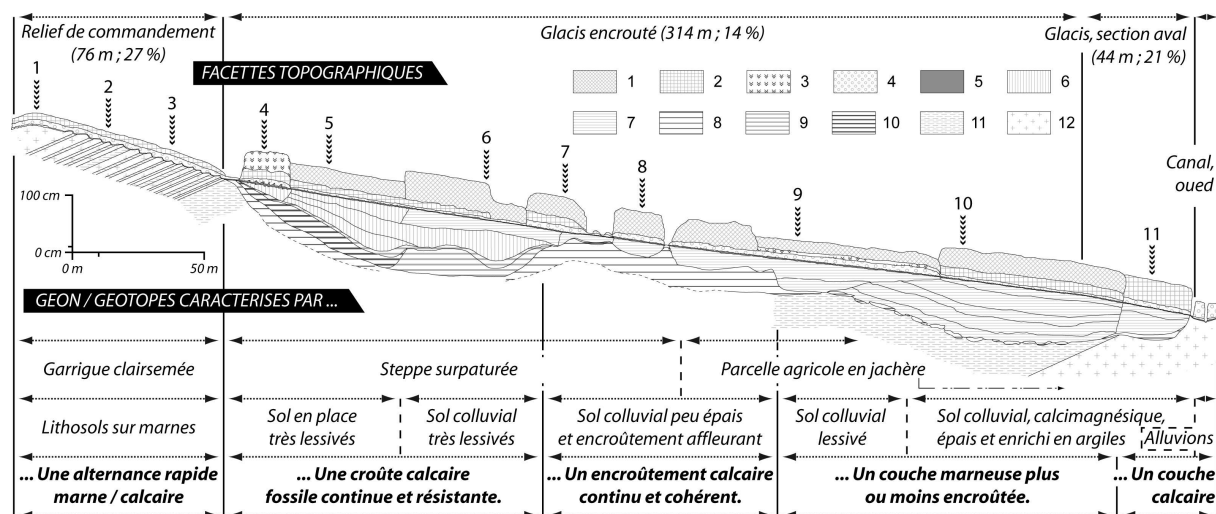
2.2. Caractérisation géons et typologie des milieux.

L'analyse des géons est souvent considérée comme la seconde étape de la caractérisation des segments de paysage. Cette affirmation n'est vraie que sur un plan conceptuel puisque aucun ordre n'est vraiment imposé. Dans la réalité, les données nécessaires la détermination des segments de paysage peuvent être recueillies dans un sens ou dans l'autre, simultanément ou avec des années d'écart..., peu importe : à partir du moment où toute l'information est disponible pour la synthèse finale, l'ordre dans lequel elle est traitée compte peu. Quoiqu'il en soit, l'analyse des géons est plus complexe que celle des facettes topographiques. Ceci tient au fait que les structures verticales de la géosphère sont moins visibles et plus diversifiées que les formes du relief. De ce fait leur caractérisation nécessite un temps plus important sur le terrain et une réflexion plus approfondie avant de pouvoir en proposer une typologie pertinente. Aucun modèle des types de milieux n'a d'ailleurs pu être proposé par l'ATM et ce contrairement aux composantes de la géosphère (Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Rambaud & Waechter, 2000 ; Richard & al., 2005), aux facettes topographiques (Beaudou & al., 1978) ou encore aux segments de paysage (Filleron, 1995). Si des essais ont été tentés dans ce sens (Richard & Beroutchachvili, 1996), ils n'ont pas encore abouti à des résultats concrets du fait de la grande variété des géons à l'échelle planétaire et d'un nombre encore trop restreint d'observations. Malgré tout il est possible de définir, au cas par cas, des types de géons en se basant sur un nombre limité d'observations : une centaine de relevés du milieu permet déjà d'établir une typologie locale pertinente et utile à la segmentation des paysages.

La caractérisation des géons commence sur le terrain du fait de la nécessité d'identifier les structures paysagères avant de pouvoir les classer. Il est toutefois inutile de vouloir étudier l'ensemble de l'espace : les paysages présentent des organisations qui se répètent à l'identique si bien qu'un nombre limité d'observations suffit à les appréhender concrètement (Richard, 1989 ; Filleron, 1995 ; Morschel, 2006). L'analyse fine d'une seule succession paysagique permet de définir l'ensemble des successions qui lui sont similaires. Chaque type d'agencement nécessite donc un examen particulier, mais pas plus. L'idéal est donc de repérer les espaces les plus représentatifs avant de commencer le travail. De ce point de vue, le plus efficace pour appréhender un paysage est de l'aborder dans le sens de l'eau puisque les flux qui lui sont associés sont des éléments déterminants de sa construction et de sa constitution. La toposéquence apparaît alors comme l'outil le plus approprié pour obtenir un échantillon représentatif de la diversité du milieu.

L'analyse d'un paysage passe donc avant tout autre chose par la localisation des séquences paysagères qui le représentent au mieux, axes le long desquels doivent être placés les points de mesure de la géosphère. Leur positionnement ne se fait donc pas au hasard et nécessite une connaissance préalable, même succincte, du paysage. Une ou deux journées de repérage sur le terrain ainsi que l'analyse des outils géographiques classiques sont donc toutes indiquées avant de commencer le travail à proprement parler. Procédant de cette manière, Morschel (2006) a montré qu'il fallait entre deux et six toposéquences, d'une longueur comprise entre 200 m et 1000 m, pour caractériser des paysages de dimensions inférieures à 500 ha. Dans le même ordre d'idées, les travaux de Richard (1989) montrent qu'un paysage inférieur à 10000 ha peut être appréhendé par seulement quelques toposéquences de longueur comprise entre 500 m et 2500 m. Tout dépend en fait de la complexité du paysage étudié : un espace vaste mais simple présente autant, voire moins, de successions paysagiques différentes qu'un espace plus restreint mais plus contrasté. Il nécessite alors un nombre à peu près équivalent de toposéquences pour l'appréhender dans son intégralité.

Une fois les toposéquences localisées (figure 3), celles-ci doivent faire l'objet d'un levé topographique précis pour permettre leur représentation, définir les facettes qui s'y inscrivent et déterminer le nombre et l'emplacement des relevés du milieu. Le positionnement des relevés est d'ailleurs fonction, à priori, de la diversité topographique : elle indique, presque systématiquement, des changements significatifs en termes d'organisation et de dynamique. C'est donc, là encore, le terrain qui détermine les conditions d'échantillonnage : chaque changement d'inclinaison de pente repéré sur la toposéquence doit faire l'objet, à minima, d'un relevé de milieu. Dans le cas de facettes particulièrement longues, plusieurs relevés peuvent être réalisés afin de ne pas omettre les changements majeurs qui pourraient y apparaître (figure 4).



Légende : 1 & 2 – [Nanophyton] Végétation sous-ligneuse basse et clairsemée ; 3 – [Gramen] végétation herbacée graminiforme ; 4 – [Epilite] cailloux posés sur la surface du sol ; 5 – [Dermilite] la surface du sol ; 6 – [Brunichron éluvial] sols bruns lessivés, en place ; 7 – [Entaféro-brunichron éluvial] sols bruns lessivés, colluviaux ; 8 – [Tafékérîte] encroûtements nodulaires cohérents ; 9 – [Tassikérîte] croûtes calcaires fossiles résistantes ; 10 – [Alté-tassikérîte] croûtes calcaires fossiles altérées ; 11 – [Alté-tanolite marneux] marnes altérées ; 12 – [Alté-régolite calcaireux] calcaires massifs altérés. Entre crochet : les néologismes de l'ATM (Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Richard, 1989 ; Da Lage et Métailié, 2000 ; Rambaud & Waechter, 2001).

Cette toposéquence est longue de 450 m. Sa construction a nécessité 11 relevés complets du milieu, autorisant une analyse des profils verticaux de la géosphère, ainsi que quelques 40 relevés partiels utiles à la compréhension des changements survenant entre eux. Il est ainsi possible de mettre en évidence les changements verticaux du milieu, de visualiser les extensions latérales de chaque profil et également de voir comment ils se succèdent dans l'espace. Si de nombreux commentaires relatifs à la structure de ce paysage peuvent être réalisés

à partir de cette seule représentation, notamment la variabilité spatiale des croûtes calcaires, de multiples interprétations sur les dynamiques hydriques et érosifs peuvent également être formulées. La nature et l'agencement des composantes renseignent en effet sur le devenir de l'eau dans ce paysage et sur la manière dont elle le construit. Il est ainsi possible de se rendre compte que l'homogénéité topographique du glacis encroûté cache en fait une grande hétérogénéité : les croûtes calcaires sous-jacentes ne sont ni homogènes ni continues. Au contraire elles changent continuellement de nature, de dureté ou encore de profondeur, autant d'éléments liés au cheminement de l'eau dans les sols et qui permettent de les suivre et de l'interpréter.

Figure 4 : Suivi du milieu naturel le long d'une toposéquence (El Hnach, toposéquence 1).

Source : Morschel & *al.* (2005), d'après les relevés de terrain, Octobre / Décembre 2002.

Chaque relevé nécessite l'ouverture d'une fosse pédologique qui permet de compléter l'analyse des hoplexols supérieurs, directement perceptibles, par celle des hoplexols inférieurs, invisibles au premier abord... Précisons également que la synthèse finale exige une parfaite localisation des observations dans le temps et dans l'espace. Ainsi les relevés doivent être systématiquement datés, correctement positionnés dans leur paysage et sur leur toposéquence d'appartenance. En outre ils doivent faire l'objet d'une analyse minutieuse permettant de définir le nombre et le développement de leurs hoplexols ainsi que la nature et le volume apparent des différents matériaux qui les caractérisent. Autant d'informations nécessaires aux traitements typologiques des géons (Richard & *al.*, 1998) puis à la segmentation des paysages (Morschel, 2006). Notons enfin que la position des hoplexols d'un relevé donné doit être dûment spécifiée, le plus simple étant de les repérer par rapport à la surface du sol. Sans le respect de ces préceptes, il serait tout simplement impossible de replacer l'information dans son ensemble et encore moins d'en réaliser une typologie utile.

Une fois ces données collectées, deux étapes sont nécessaires à la classification des géons (Ndiaye, 1995). Il s'agit dans un premier temps d'établir une typologie des hoplexols, en les comparant au travers du volume apparent des composantes de la géosphère qui entrent dans leurs constitutions respectives (figure 5). Pour des raisons de commodité cette première étape doit-être menée de manière différenciée en fonction des hoplexions (tableau 1) : cela réduit considérablement les temps de traitement et évite les conclusions triviales. Chaque hoplexion doit être transcrite dans une table de contingence permettant, au travers d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et de classifications numériques, la définition des types d'hoplexols qui s'y inscrivent. La seconde étape permet de déterminer les types de géons à proprement parler. Il s'agit cette fois de comparer relevés de milieu définis sur le terrain au travers de leur développement respectif dans les types hoplexols établis. Une nouvelle table de contingence croisant cette fois les relevés de milieu et les types d'hoplexols doit donc être établie (figure 5). Le recours aux AFC et aux classifications permet une nouvelle fois de réduire l'information disponible et de définir les types de géons attendus (Morschel, 2006).

Les types d'états de la géosphère établis suivant cette méthode viennent alors remplacer les hoplexols et les géons identifiés sur le terrain. C'est à partir de ces derniers que la segmentation du paysage peut être effectuée.

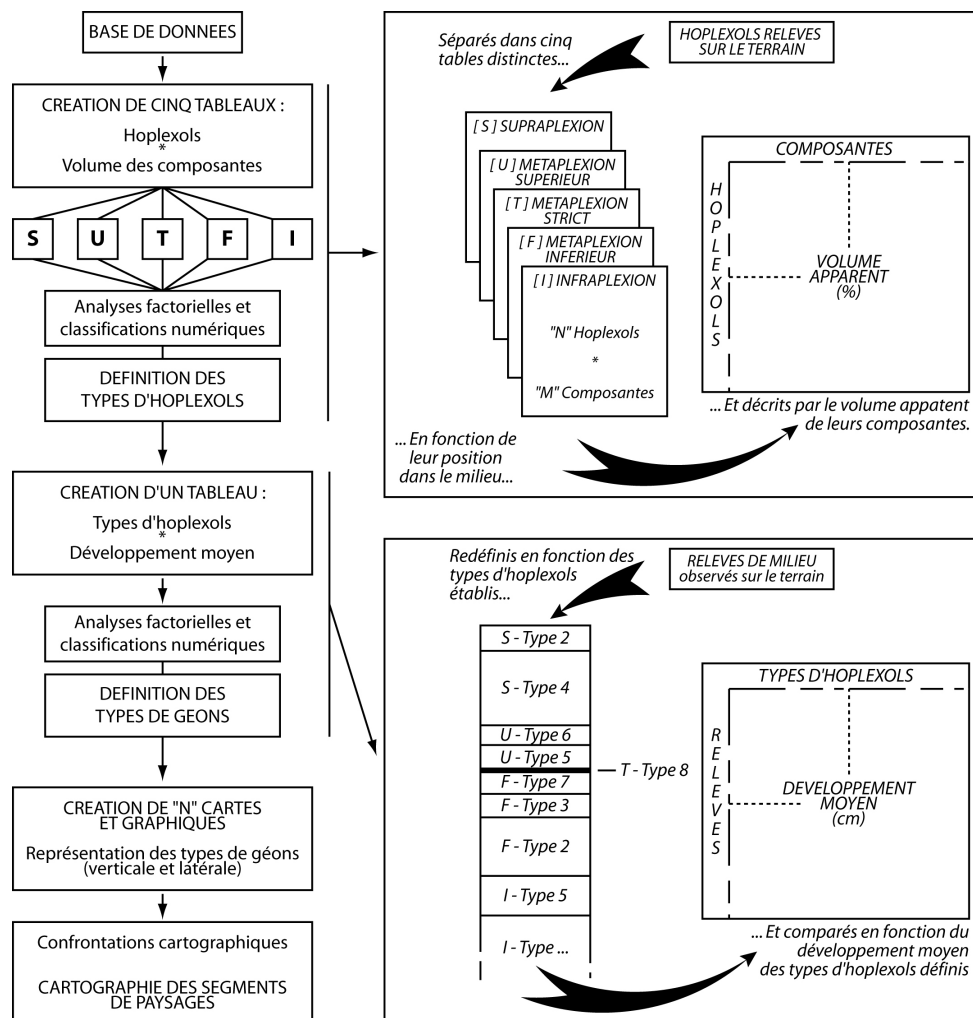


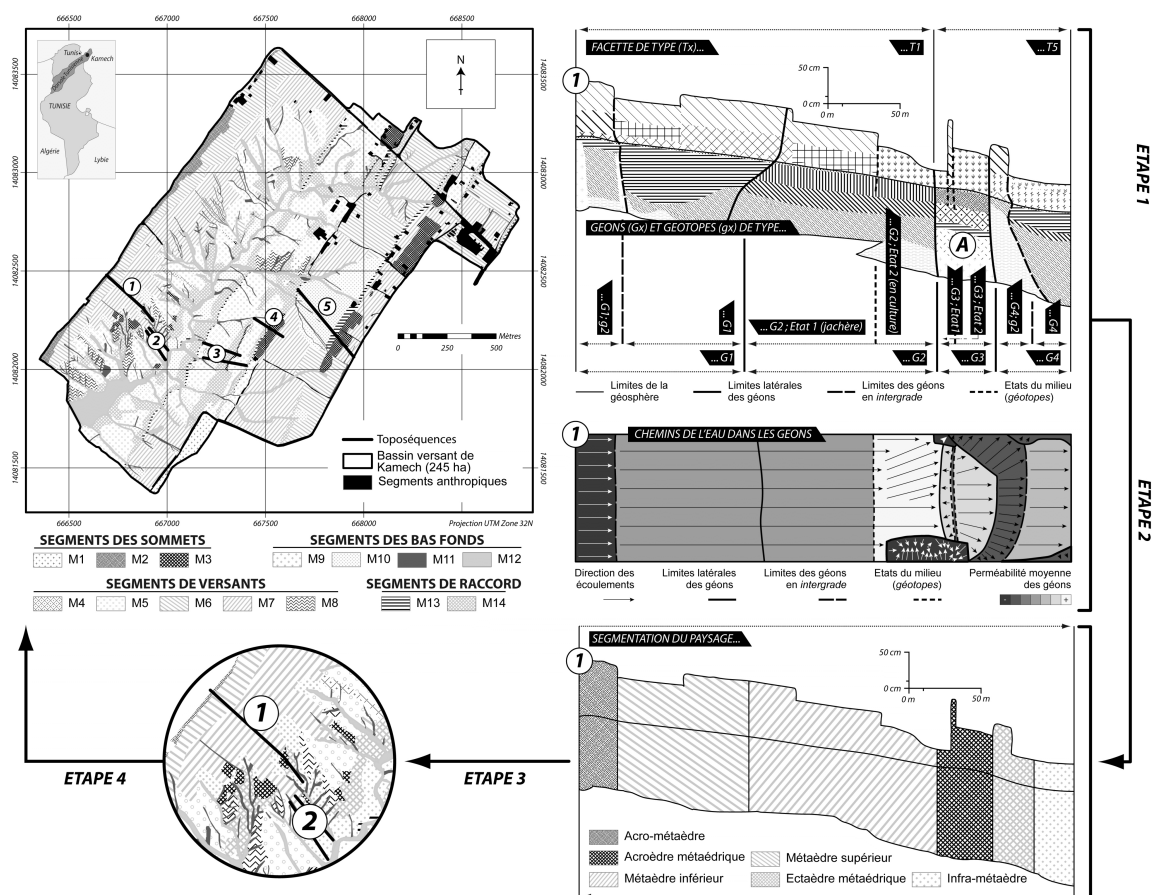
Figure 5 : Traitements numériques permettant la typologie des hoplexols puis celle des géons et mise en forme des tables de contingence (Morschel, 2006).

3. La synthèse paysagère : mise en évidence et cartographie des segments de paysage.

La synthèse paysagère et la segmentation du paysage qui en découle (figure 6) naissent de la mise en synergie des informations relatives au relief avec celles concernant l'organisation du milieu. Cette synthèse est basée sur une règle simple qui veut qu'un système de pente donné corresponde à un ou quelques types d'organisations verticales de la géosphère. Les organisations internes des segments de paysages peuvent donc être très simples, dans le cas de segments courts ou peu diversifiés, mais aussi nettement plus complexes. Rien n'interdit en effet d'avoir plusieurs géons différents dans un même segment de paysage. A l'inverse, dans certaines facettes topographiques plusieurs segments de paysage peuvent s'inscrire. Un même type de géon peut alors se répartir dans deux segments différenciés. Les possibilités sont donc multiples et seul un examen minutieux des éléments disponibles permet d'établir la segmentation du paysage.

De ce fait les segments de paysage sont définis, en premier lieu, à partir des séquences paysagiques ayant permis la collecte des données nécessaires à leur caractérisation. Le rapprochement effectué nécessite toutefois que les objets bruts soient remplacés par les types d'objets auxquels les classifications les rattachent (figure 6 - étape 1). Des éléments supplémentaires tels que le cheminement de l'eau dans le milieu (figure 6 – étape 1) ou les

découpages vernaculaires proposés par les personnes pratiquant l'espace (Morschel & al., 2005 ; Temple-Boyer, 2006) peuvent également être associés à ce niveau de l'analyse . La délimitation des segments de paysage se fait donc par l'analyse des graphiques et des figures représentant chaque toposéquence (figure 5 ; figure 6 – étape 2). Il n'existe pas encore de méthode automatique : c'est véritablement la sensibilité et l'intégrité du chercheur qui interviennent au moment de leur définition. Ceci n'est toutefois pas préjudiciable car leur représentation finale doit nécessairement s'accompagner de l'ensemble des représentations du milieu établies au préalable. Elles permettent en effet de justifier les choix opérés et favorisent la compréhension des interprétations proposées. Chacun peut ainsi apprécier la justesse de l'analyse et repérer les éventuels artifices introduits lors de la segmentation du paysage. C'est également à ce moment que les explications concernant les structures et les dynamiques du milieu doivent être formulées. L'information disponible affiche en effet une résolution très fine mais déjà suffisamment synthétique pour permettre cette analyse. C'est donc à ce niveau que l'interprétation du cheminement des flux dans le milieu peut être effectuée (Morschel, 2006).



Légende : M1 – *Supraèdre* ; M2 – *Acr'-métaèdre* ; M3 – *Acr'èdre métaédrique* ; M4 – *Métaèdre acr'édrique* ; M5 – *Métaèdre* ; M6 – *Métaèdre supérieur* ; M7 – *Métaèdre inférieur* ; M8 – *Cata-métaèdre* ; M9 – *Infra-métaèdre* ; M10 – *Infra-métaèdre 2* ; M11 – *Cataèdre* ; M12 – *Infraèdre* ; M13 – *Ectaèdre* ; M14 – *Ectaèdre métaédrique*. En italique : les néologismes de l'ATM (Richard, Khan & Chatelin, 1977 ; Filleron 1995 ; Da Lage & Métailié, 2000 ; Rambaud & Waechter, 2001).

Figure 6 : Synthèse paysagère et segmentation des paysages (Morschel, 2006).

Prenons l'exemple de l'hoplexol noté « A » (figure 6) pour appuyer ces affirmations. Celui-ci, épais de 30 cm, se compose d'un Allotérite gréseux (63 %) pardi-réductique nébuloïde (20 %) à phase calcinique nodulaire ou mycéloïde fistulaire (5 %) et à stigme brunichrome (1 %) et gravelique (2 %), dans lequel figurent, dans une moindre mesure, des mesogravelons gréseux amblymorphes (6 %), des rhizophyses (1 %) et une part très faible d'aérophyse (2 %). Il s'agit là des composantes de la géosphère diagnostiquées sur le terrain et de leurs volumes apparents dans l'hoplexol considéré.

Par soucis de clarté, il convient tout d'abord de traduire la composition de cet hoplexol : les néologismes employés sont en effet peu connus, malgré leur intérêt pour la diagnose du milieu naturel et le fait qu'ils soient déjà publiés dans plusieurs dictionnaires scientifiques (Lozet & Mathieu, 1997 ; Da Lage & Métaillé, 2000). Il s'agit en fait d'une roche gréseuse en place très fortement altérée et dont les structures originelles ne sont plus visibles (allotérite gréseux). Dans cette matrice s'insèrent des marbrures de couleur grise, de texture argilo-sableuse, et des marbrures de couleur jaune de texture plus argileuse (pardi-réduction nébuloïde), ainsi que quelques traces de sols bruns (brunichron), des concentrations de calcaire sous la forme d'amas cohérents (calcinite nodulaire) ou de pseudo-mycéliums sub-verticaux (calcinite mycéloïde fistulaire) et des éléments ferrugineux grossiers de la taille de graviers (gravalite). Ces matériaux cohabitent, en outre avec des graviers gréseux aux arêtes émoussées (mésogravelon amblymorph), un chevelu racinaire d'expansion et d'exploitation du milieu souterrain (rhizophyse) ainsi qu'une très faible part d'air (aérophyse) traduisant la compaction générale de l'entité.

L'analyse que l'on peut en faire va toutefois plus loin que la simple description réalisée. Il est en effet possible d'interpréter les dynamiques qui ont conduit à la différenciation de hoplexol et les processus qui y sont en cours actuellement. Ainsi, cet agencement de composantes de la géosphère indique que l'on se situe dans un ensemble qui n'est plus une roche mais que l'on ne peut pas encore qualifier de sols. La faible part de brunichron confirme d'ailleurs ce propos. En effet, le ciment qui liait les grains dans l'affleurement gréseux qui se trouvait là au départ a totalement disparu, du moins sous sa forme originelle. A la place existe un banc de sable sans cohésion à l'intérieur duquel apparaissent des concentrations d'argile provenant de l'altération chimique de la roche mère et de la restructuration du ciment qui la caractérisait (Duchaufour, 1970). Compte tenu du fait que de tels processus ne peuvent se produire qu'en présence d'eau et que la couche sableuse ne semble pas avoir, du fait de sa position dominante dans le paysage, subi de transport, il est possible d'affirmer d'une part que l'hoplexol « A » s'est développé sur place et en profondeur et d'autre part qu'il a subi des phases d'hydromorphie, au moins temporaires, lors de sa formation. Les processus de mobilisation et de concentration des oxydes de fer présents traduisent également ce phénomène. Il est donc probable qu'au cours de la période hivernale, plus humide, une nappe perchée se forme à cet endroit. La période d'anaérobiose qui la caractérise aboutit à la solubilisation du fer contenu dans les argiles et à sa migration sur de courtes distances. L'assèchement de la nappe, au cours de la période estivale, conduit à la réoxydation complète du fer et à sa précipitation, soit sous la forme de taches diffuses, soit sous la forme de concrétions solides. Ce processus mène progressivement à la formation d'un pseudogley dans lequel s'individualisent des taches gris clair ne contenant qu'une quantité limitée de fer ferreux et des taches jaunes enrichies en fer oxydé. Ces propos sont en outre confirmés par la faible expansion racinaire typique de ce matériau (Duchaufour, 1970). Il est possible de prolonger l'argumentation en analysant les phénomènes de concentration et d'induration des calcaires qui, même s'ils sont très minoritaires dans cet hoplexol, sont aussi des témoins marquants de sa dynamique. Ainsi, Boulaine (1957) et Ruellan (1970) ont montré que les encroûtements nodulaires résultent d'une phase de lessivage oblique le long des pentes qui permet de dissoudre le calcaire des sols tout en enrichissant le ruissellement hypodermique en

carbonate de calcium et d'une phase de précipitation / cristallisation qui permet la néo-formation de calcaire sous une forme poudreuse et peu cohérente. Ces faibles encroûtements suggèrent eux aussi les cheminements de l'eau dans le milieu et connotent un comportement hydrodynamique typique des milieux semi-arides. Ils montrent ainsi que l'hoplexol connaît une période d'humectation suffisante à la dissolution des carbonates et une phase d'assèchement significative permettant leur précipitation in situ et conduisant à la formation progressive de l'encroûtement. En outre, deux états d'avancement sont remarquables : la forme nodulaire d'une part, qui dénote un aspect plus achevé de l'encroûtement sous la forme d'amas cohérents et la forme mycéloïde d'autre part qui correspond aux premières formes d'individualisation des calcaires... Dont la disposition fistulaire renseigne sur les mouvements verticaux de l'eau (Lozet & Mathieu, 1997) dans les fissures de cet hoplexol. Enfin, il est également important de signaler que la très faible extension de ces encroûtements témoigne d'un manque évident d'apport en carbonate de calcium. Ceci est essentiellement dû au fait qu'aucune source significative de calcaire ne se trouve à proximité de cet hoplexol, et ce contrairement à d'autres paysages de la Dorsale tunisienne qui présentent, du fait de leur contexte géologique, des encroûtements calcaires résistants, cohérents et surtout continus (figure 3 ; figure 4).

Notons pour finir que l'analyse proposée n'est basée, au départ, que sur nombre limité de termes correspondant aux différents objets observés sur le terrain. Elle permet cependant de comprendre l'organisation de l'hoplexol considéré et de déduire à la fois ses dynamiques actuelles ainsi que celles qui ont conduit à sa différenciation. C'est en partie en ce sens que la méthode proposée montre son efficacité en termes de rapidité, puisque les composantes de l'hoplexol sont identifiées plutôt que décrites, et d'exhaustivité, car contrairement à d'autres méthodes l'ensemble des matériaux présents sont repérées.

L'analyse d'un seul hoplexol renseigne donc concrètement sur l'état et les dynamiques du milieu

Aussi, procédant de cette manière, il est possible d'interpréter les structures rencontrées aux différentes échelles de l'analyse proposer une explication complète du paysage étudié.

Au-delà de cette étape, nous passons dans le domaine de l'extrapolation spatiale. De ce fait il est important que la connaissance du paysage soit la plus complète possible avant d'y arriver.

Une fois les segments définis le long des toposéquences, il est possible de proposer la carte des segments de paysage attendue. Ceci implique d'extrapoler les résultats pour passer d'une information linéaire à une information spatiale. La cartographie finale naît alors de la confrontation entre les cartes des types de facettes topographiques (figure 2 ; figure 3) et les informations extraites des toposéquences (figure 6 – étape 2). Dans ce cas encore aucun calcul n'intervient : la spatialisation des segments est réalisée manuellement. Toutefois dans le but de limiter le risque d'erreur, elle doit se faire dans un premier temps à proximité des séquences paysagères (figure 6 – étape 3). Ces dernières ayant été choisies au départ comme représentatives du paysage, il est normal de vérifier si les adéquations entre facettes topographiques et contenus mésologiques qu'elles affichent s'expriment correctement dans leurs environs. L'analyse de quelques relevés supplémentaires et leur comparaison avec les types auxquels ils se rattachent théoriquement s'avère d'ailleurs utile pour valider le découpage proposé de la toposéquence au-delà de la portion d'espace qu'elle représente. Une fois vérifiés localement et éventuellement adaptés, les résultats peuvent être appliqués à l'ensemble de l'espace afin de produire la carte finale (Figure 6 – étape 4). Une procédure de validation similaire peut éventuellement être mise en œuvre pour vérifier si les segments spatialisés correspondent bien aux segments initiaux auxquels ils sont rattachés.

Cette dernière étape effectuée, la carte des segments de paysages est opérationnelle. Chaque point de l'espace est alors caractérisé par le modèle géosystémique auquel il se rapporte. Il est

ainsi possible de percevoir, de comprendre et d'expliquer l'organisation et les dynamiques en tous lieux du paysage considéré (Morschel, 2006). La vision offerte au final, permet donc à la fois une vue globale du milieu étudié mais apporte également une connaissance très précise des multiples composantes de cet espace. A ce titre la carte des segments de paysage peut être assimilée à un modèle spatial complet. Elle se présente alors, de par l'information qu'elle renferme, comme un outil intéressant pour les travaux ultérieurs appliqués à cet espace : chaque chercheur peut ainsi, selon sa sensibilité disciplinaire, « piocher » dans cette carte les informations utiles à ses propres problématiques tout en respectant un découpage fidèle aux conditions particulières qu'impose l'espace analysé.

Conclusions.

Définis dans le cadre de l'ATM, les segments de paysage sont des entités spatiales déterminées à la fois en fonction du relief et des structures verticales du milieu naturel. Sur le plan de la perception directe, ces ensembles se remarquent immédiatement dès que l'on observe le paysage. C'est d'ailleurs ce qui fait leur intérêt : il ne s'agit pas d'allégories de la nature mais d'ensembles tangibles, ayant une réelle existence. De plus, du fait de leur homogénéité relative et de la reproductibilité qu'ils sous-tendent, ils autorisent la modélisation systémique du paysage. Toutefois s'il est évident que les associations auxquelles ils renvoient puissent apparaître au premier abord, leur représentation finale ne peut être donnée qu'après une étude exhaustive du milieu naturel. C'est en effet seulement après avoir atteint un certain niveau d'abstraction que ces entités se développent pleinement et peuvent être utilisées à des fins de modélisation, explicative comme prédictive.

Le découpage d'un espace en segments de paysage nécessite alors deux séries de traitements distincts pour prendre en compte à la fois le contexte topographique et les agencements verticaux de la géosphère. Autant d'éléments qui permettent de comprendre l'organisation de l'espace naturel et d'interpréter ses dynamiques. Deux jeux de données distincts doivent alors être collectés sur le terrain puis traités en laboratoire. Il s'agit en effet de repérer et d'ordonner les facettes topographiques afin de prendre en compte leur impact sur le paysage puis d'identifier et de classer les états du milieu repérés pour en proposer des modèles représentatifs. C'est de la mise en synergie de ces deux groupes d'informations que naissent les segments de paysage et les interprétations qu'ils autorisent : les relations linéaires observées sont transcrites spatialement jusqu'à obtenir une cartographie représentative du paysage étudié. Les segments de paysage et leur mise en œuvre cartographique apparaissent alors comme l'expression de modèles systémiques spatiaux complets pouvant être utilisés dans de nombreux travaux de recherche appliqués.

Telles que présentées ici, ces entités sont toutefois incomplètes : elles n'intègrent que l'espace et délaissent le temps. Or des travaux de recherche ont d'ores et déjà prouvé l'importance de ce facteur dans la compréhension globale des paysages et de leurs dynamiques. Toutefois aucun véritable couplage spatio-temporel n'est proposé à ce jour. Les recherches menées actuellement s'orientent vers cet objectif : intégrer les changements saisonniers dans la segmentation du paysage. Deux autres aspects sont également envisagés. A court terme, l'emploi de la carte des segments de paysages à des fins de modélisation quantitative des flux d'eau et de matières associées est attendu. Sur le long terme, la mise en évidence d'un modèle d'organisation des milieux comparable à celui existant pour les segments de paysages est prévue.

Références.

Ambroise B., 1999, *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin-versant. Pr`cessus, facteurs, m`dèles*, Bucarest, Editions *H*G*A*, Collection Tempus, 200 p.

Beaudou et al., 1978, « Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides) », *Travaux et D`cuments de l'ORSTOM*, numéro 91, Paris.

Boulaine J., 1957, *Etude des s`ls des plaines du Cheliff*, Thèse d'Etat, Université d'Alger, Algérie, 582 p.

Brunet R., Ferras R., Théry H., 1993, *Les m`ts de la gé`graphie, dicti`nnaire critique. Tr`isième édit`n revue et augmentée*, Montpellier-Paris : Reclus - La Documentation Française, 520 p. (Troisième édition).

Chatelin Y., Riou G., 1986, *Milieux et paysages*, Paris, New-York, Barcelona, Milan, Sao Paulo, Mexico, Masson, ,35p.

Carrega P., Dubreuil V., Planchon O., 2004, « Les types de temps », *N`r`is – Revue Gé`graphique des Universités de l'Ouest*, n° 191 – 2004/2, Acte des « Journées de Climatologie » de la Commission « Climat et Société » du Comité National Français de Géographie, Presses Universitaires de Rennes, 145 p.

Conacher A.J., and Dalrymple J.B., 1977, « The nine-unit land surface model: an approach to pedogeomorphic research », *Ge`derma*, 18 ½, special issue, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p. 1 – 154.

Da Lage A., Métaillé G., 2000, *Dicti`nnaire de bi`gé`graphie végétale*, Paris, CNRS Editions, 579 p.

Dalrymple J.B., Blong R.J., Conacher A.J., 1968, « A hypothetical nine-unit landsurface model », *Z, Ge`m`rph`l.*, 12, p. 60 – 76.

Duchaufour P., 1970, *Précis de péd`l`gie*, Troisième édition entièrement refondue, Masson et Compagnie Editeurs, Paris, 481 p.

Filleron J-C., 1995, *Essais de gé`graphie systématique : les paysages du n`rd-`uest de la Côte d'Iv`ire*, Thèse de Doctorat d'Etat ès Géographie, Université de Toulouse-Le Mirail, 2 volumes, France, 1547 p + annexes.

Lozet J., Mathieu C., 1997, *Dicti`nnaire de sciences du s`l*, Paris – Londres – New-York, Lavoisier Techniques et Documentations, troisième édition mise à jour et augmentée, 487 p.

Morschel J., Temple-Boyer E., Khébour F., Labiadh M., Richard J-F., 2005, « Les segments et les saisons de paysage : exemple d'un paysage aride de la Dorsale Tunisienne », *Revue Caucasienne de Gé`graphie*, Société Géographique de Géorgie, Union Géographique Internationale), Tbilissi, 5, p. 3 – 14.

Morschel J., 2006, *L'eau et les Paysages dans le D`rsale Tunisienne : expliquer le cheminement des flux hydriques en f`ncti`n des `rganisati`ns présentes dans le milieu*

naturel, Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Nice Sophia-Antipolis, UMR 6012 ESPACE, équipe GVE, France, 395 p.

Ndiaye A.L., 1995, *Étude et cartographie des paysages de la Grande Côte Sénégalaise. Applications à la mise en valeur et à la conservation des ressources naturelles*, Thèse de Géographie, ORSTOM, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 508 p.

Rambaud D., Waechter F., 2001, *Diagnostics pour l'étude du milieu, mise à jour et compléments*, IRD, Note technique interne, Montpellier, 77 p.

Regain R., 1971, « L'altitude des marais maritimes, étude statistique. Cas du marais de Brouage », in Verger F., et al., *Revue de géographie physique et de géologie dynamique, numéro spécial consacré aux marais maritimes*, deuxième série, vol. XIII, fasc. 2, Masson et Cie Editeurs, Paris, 200 p.

Richard J-F., 1989, *Le paysage, un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*, Thèse de doctorat d'état ès Lettres et Sciences Humaines. Editions de l'ORSTOM, collection Initiations – Documentations techniques n° 72, Paris, France, 209 p.

Richard J-F., Beroutchachvili N.L., 1996, « Vers l'élaboration d'un système d'information sur les paysages du monde », *Cahiers des Sciences Humaines de l'ORSTOM*, vol.32, n°4, Paris, p. 823-842.

Richard J-F., Kahn F., Chatelin Y., 1977, « Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides) », *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie*, Volume XV, numéro 1, p. 43-62.

Richard J-F., et al., 1998, *La science du paysage. Une Géographie comparée : l'étude des milieux et des paysages...* (<http://pagesperso-orange.fr/paysage/index.htm>)

Richard J-F., Khébour F., Labiadh M., Morschel J., Riahi O., Temple-Boyer E., 2005, *L'eau et le paysage dans la Dorsale Tunisienne*, Tunis, Tunisie, Institut de Recherche pour le Développement, UMR LISAH, [DVD rom].

Rougerie G., 1988, *Géographie de la biosphère*, Paris, Armand Colin Editeur, collection U géographie, 287 p.

Rougerie G., Beroutchachvili N., 1991, *Géosystèmes et Paysages, bilan et méthodes*, Paris, Armand Colin Editeur, collection U géographie, 302 p.

Ruellan A., 1970, *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental)*, Thèse Sci. Strasbourg - Mém. ORSTOM, n°54, 302 pp.

Sautter G., 1983, *Les environnements et leur maîtrise humaine*. Kenzo Fujiwara (ed), Research and sources unit for regional geography, University of Hiroshima, Special Publication number 14, 282 p.

Temple-Boyer E., 2006, *Evolution, représentation et gestion de la conservation des eaux et des sols à l'échelle de trois petits bassins versants*, Thèse de Doctorat de Géographie, Ecole Normale Supérieure, LSH-Lyon, France, 360 p.

Wysocki, D.A., Schoeneberger P. J., LaGarry H. E., 2000, « Geomorphology of Soil Landscapes », in Sumner M. E., Malcom E., *Handbook of Soil Science*, New York, CRC Press, p. E8 - E10.